

2)

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開平11-88261

(43) 公開日 平成11年(1999) 3月30日

(51) Int.Cl.⁵
H 0 4 B 10/02
10/18
G 0 2 B 6/00

識別記号

F I
H 0 4 B 9/00 M
G 0 2 B 6/00 E

審査請求 未請求 請求項の数23 O L (全 17 頁)

(21) 出願番号 特願平9-246901

(22) 出願日 平成9年(1997) 9月11日

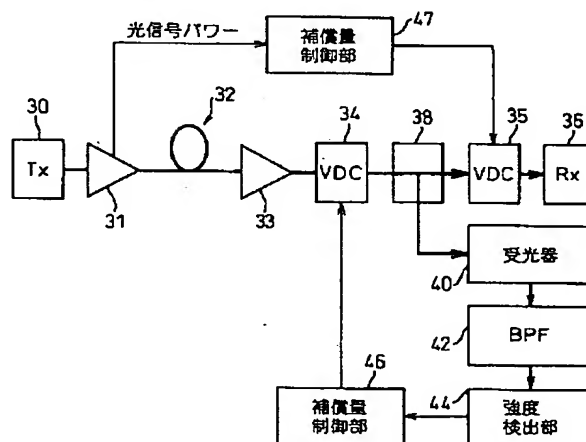
(71) 出願人 000005223
富士通株式会社
神奈川県川崎市中原区上小田中4丁目1番
1号
(72) 発明者 石川 丈二
神奈川県川崎市中原区上小田中4丁目1番
1号 富士通株式会社内
(72) 発明者 大井 寛己
神奈川県川崎市中原区上小田中4丁目1番
1号 富士通株式会社内
(72) 発明者 桑田 直樹
神奈川県川崎市中原区上小田中4丁目1番
1号 富士通株式会社内
(74) 代理人 弁理士 石田 敬 (外3名)

(54) 【発明の名称】 分散制御方法及び装置

(57) 【要約】

【課題】 信号光パワーに応じて分散補償量を最適化する。

【解決手段】 受光器40、補償量制御部46及び可変分散補償器34を含む制御ループによりクロック周波数成分が極大または極小となるように分散補償量を制御して分散量を零にし、その後段において、補償量制御部47及び可変分散補償器35により、信号光パワーに応じた最適な分散量を付加する。



【特許請求の範囲】

【請求項1】 (a) 光伝送路で伝送される光信号のパワーから最適な総分散量を決定し、

(b) 光伝送路の所定の制御点までの分散量が零になるように分散量を制御し、

(c) 該制御点の後段において、前記最適総分散量に相当する分散量を付加するステップを具備する分散制御方法。

【請求項2】 ステップ(b)は、

(i) 前記制御点において特定の周波数の成分の強度を検出し、

(ii) 検出された強度が極大または極小となるように分散量を制御することによって分散量を零に制御するサブステップを含む請求項1記載の方法。

【請求項3】 前記特定の周波数は、前記光信号のビットレートの値と同じ値の周波数である請求項2記載の方法。

【請求項4】 ステップ(b)において、前記制御点の前段に設置された、可変の分散値を有する可変分散補償器の分散値を制御することによって分散量が零に制御される請求項1～3のいずれか1項記載の方法。

【請求項5】 ステップ(b)において、光信号の波長を制御することによって分散量が零に制御される請求項1～3のいずれか1項記載の方法。

【請求項6】 ステップ(a)において、光送信機内に設けられる光ポストアンプの制御信号またはモニタ信号が光信号のパワーの検出信号として利用される請求項1～5のいずれか1項記載の方法。

【請求項7】 ステップ(a)において、光受信機内に設けられる光プリアンプの制御信号またはモニタ信号が光信号のパワーの検出信号として利用される請求項1～5のいずれか1項記載の方法。

【請求項8】 (a) システムの運用の開始前に、光信号のパワーを非線形効果の生じない低い値に設定して、光伝送路の総分散量が零になるように総分散量を制御し、

(b) システムの運用中に、光信号のパワーから最適な総分散量を決定し、

(c) 該最適分散量に相当する分散量を光伝送路に付加するステップを具備する分散制御方法。

【請求項9】 ステップ(a)は、

(i) 受信側において特定の周波数成分の強度を検出し、

(ii) 検出された強度が極大または極小となるように総分散量を制御することによって、総分散量を零に制御するサブステップを含む請求項8記載の方法。

【請求項10】 前記特定の周波数は、前記光信号のビットレートの値と同じ値の周波数である請求項9記載の方法。

【請求項11】 ステップ(b)において、光送信機内

に設けられる光ポストアンプの制御信号またはモニタ信号が光信号のパワーの検出信号として利用される請求項8～10のいずれか1項記載の方法。

【請求項12】 ステップ(b)において、光受信機内に設けられる光プリアンプの制御信号またはモニタ信号が光信号のパワーの検出信号として利用される請求項8～10のいずれか1項記載の方法。

【請求項13】 ステップ(c)において、前記特定の周波数成分の強度が前記最適分散量に相当する値になるように分散量を制御することによって、該最適分散量に相当する分散量が光伝送路に付加される請求項9～12のいずれか1項記載の方法。

【請求項14】 ステップ(a)における総分散量の制御及びステップ(c)における分散量の付加は単一の可変分散補償器を使って行なわれる請求項8～13のいずれか1項記載の方法。

【請求項15】 ステップ(a)における総分散量の制御は第1の可変分散補償器を使って行なわれ、ステップ(c)における分散量の付加は第2の可変分散補償器を使って行なわれる請求項8～13のいずれか1項記載の方法。

【請求項16】 前記第1及び第2の可変分散補償器は、それぞれ受信側及び送信側に配置される請求項15記載の方法。

【請求項17】 光伝送路で伝送される光信号のパワーから最適な総分散量を決定する総分散量決定手段と、光伝送路の所定の制御点までの分散量が零になるように分散量を制御する分散量零制御手段と、該制御点の後段において、前記最適総分散量に相当する分散量を付加する手段とを具備する分散制御装置。

【請求項18】 前記分散量零制御手段は、前記制御点において特定の周波数の成分の強度を検出する光検出器と、

検出された強度が極大または極小となるように分散量を制御することによって分散量を零に制御する制御器を含む請求項17記載の装置。

【請求項19】 前記特定の周波数は、前記光信号のビットレートの値と同じ値の周波数である請求項18記載の装置。

【請求項20】 前記分散量零制御器は、前記制御点の前段に設置された、可変の分散値を有する可変分散補償器を含む請求項17～19のいずれか1項記載の装置。

【請求項21】 前記分散量零制御手段は、光信号の波長を制御することによって分散量を零に制御するための波長可変光源を含む請求項17～19のいずれか1項記載の装置。

【請求項22】 前記総分散量決定手段は、光送信機内に設けられる光ポストアンプの制御信号またはモニタ信号を光信号のパワーの検出信号として利用する請求項17～21のいずれか1項記載の装置。

【請求項23】 前記総分散量決定手段は、光受信機内に設けられる光プリアンプの制御信号またはモニタ信号を光信号のパワーの検出信号として利用する請求項17～21のいずれか1項記載の装置。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、伝送路の波長分散の制御のための方法と装置に関する。現在基幹系光通信において10Gb/s光伝送システムが実用化段階にあるが、急激な情報量の増加に伴い、更なる光通信システムの大容量化が望まれている。その方法の1つに時分割多重（光時分割多重を含む）による伝送速度のアップグレードがあり、10Gb/sの次世代方式として、40Gb/sシステムの研究開発が国内外で活発になってきている。

【0002】本発明は、そのような時分割多重方式による大容量光伝送システムを実現するための、伝送路の波長分散の監視および制御技術に言及する。

【0003】

【従来の技術】40Gb/sシステムにおける伝送距離を制限する要因の一つとして、光ファイバ伝送路の波長分散（群速度分散：GVD）がある。波長分散耐力はビットレートの二乗に反比例するために、10Gb/sでは約

$$\begin{aligned} \text{〔分散変化量〕} &= \text{〔零分散波長の温度依存性〕} \times \text{〔温度変化〕} \\ &\quad \times \text{〔分散スロープ〕} \times \text{〔伝送距離〕} \\ &= 0.03 \text{ (nm/}^\circ\text{C)} \times 150 \text{ (}^\circ\text{C)} \times 0.07 \text{ (ps/nm}^2 \text{ /} \\ &\quad \text{km)} \times 50 \text{ (km)} \\ &= 1.6 \text{ ps/nm} \end{aligned}$$

これは分散トレランス30ps/nmの半分以上となり、システム設計上、十分に考慮しなければならない値である。なぜなら、システム運用開始時に-50℃で分散補償量を最適化した場合に、システム運用中に100℃になったとすると、ペナルティ1dBの基準を満たさなくなる（最悪の場合を想定）。また、分散補償器の特性や構成によっては、分散補償量を連続的に設定できないので、システム運用開始時に最適値から多少ずれた値にしか設定できない場合も有り得る。この場合は、150℃以下の温度変化でもペナルティ1dBの基準を満たさなくなる可能性もある。

【0006】以上の考察により、40Gb/s以上の超高速光伝送システムを実現するには、システム運用開始時に中継区間ごとに分散補償量を最適化するとともに、システム運用中にも伝送路分散値の経時変化に対応して分散補償値の最適化を行う「自動分散補償システム」の構築が必要であることがわかる。この自動分散補償システムは、SMF伝送システムだけではなく、波長分散値が小さい1.55μm帯分散シフトファイバ（DSF）を用いた場合でも必要である。

【0007】自動分散補償システムを実現するための要素技術は以下の3点にまとめられる。

800ps/nmであった波長分散耐力が、40Gb/sでは1/16の約50ps/nmと厳しくなる。

【0004】測定結果によれば、信号光波長が1.55μm（石英系ファイバにおける伝送損失が最小である波長）、入力信号光パワーが+3dBm、ビットレート40Gb/sの光時分割多重（OTDM）信号（後述）を、零分散波長が、1.3μm（現在世界で最も広く布設されているもの）の単一モードファイバ（SMF）で50kmの距離を伝送し、分散補償ファイバ（DCF）で分散補償を行なったとき、パワーペナルティ（伝送による光信号の受信感度劣化）を1dB以下に抑えるために許される分散補償値の範囲の幅（分散補償トレランス）は30ps/nmであった。この値は波長分散値18.6ps/nm/kmのSMFの長さにして2km以下に相当する。また、陸上のシステムでは中継局の間隔は一定でない。したがって、中継区間ごとに高い精度で分散補償を行なわなければならないことがわかる。

【0005】また、光ファイバ伝送路の波長分散値は、温度や圧力等の敷設環境の変化に伴い、経時的に変化する。例えば、-50～100℃の温度変化がある場合のSMF 50kmの分散変化量を見積もると16ps/nmとなる。

(i) 可変分散補償器の実現

(ii) 伝送路の波長分散値（または分散補償後の総分散量）のモニタ方法

(iii) 可変分散補償器のフィードバック最適化制御方法
光ファイバの波長分散値の測定法として、複数の異なる波長の光を光ファイバに入力し、出力光間の群遅延差や位相差を測定するパルス法や位相法が従来より用いられている。しかし、これらの方法を用いて、システム運用中に常時分散測定を行うためには、各中継区間ごとに一組の波長分散測定器が必要となる。さらに、データ信号光の伝送を中断しないで分散量測定を行うためには、データ信号光とは異なる波長の測定光を波長多重する必要がある。このようにパルス法や位相法を光伝送装置の中に組み込むことは、サイズおよび経済性の面から現実的ではない。さらに主信号光波長と異なる波長を用いる場合、測定光波長での測定値から信号光波長での分散値を推測するというプロセスを挟むため、厳密性に欠けるおそれがある。そのため、主信号光から直接波長分散値を読み取れる方法が望ましい。

【0008】この方法として、既に本願発明者は特願平9-224056号において、NRZ（非零復帰）信号およびOTDM信号（後述）に対するベースバンドスベ

クトル中の40GHz成分強度の総分散量依存性を利用した方法を提案している。具体的には、総分散量が零のときに40GHz成分強度が極小になり、そのときアイ開口度が最大になることを利用し、40GHz成分強度が極小になるように可変分散補償器の動作点をフィードバック設定する方法である。

【0009】しかしながら、後に詳述するように、40GHz成分強度が極小になる総分散量とアイ開口度が最大になる総分散量が一致するのは、信号光パワーの小さい線形伝送の場合に限られる。信号光パワーが大きくなり、非線形効果(=自己位相変調効果:SPM)が大きくなるほど、両者の差が大きくなり、上記の制御方法では分散補償量の最適化が難しい。伝送速度が上がるほど、所要光SNRおよび送受レベル差を確保するために、送信光パワーを上げなければならず、非線形伝送になる可能性が大きいのでこの問題を無視することはできない。

【0010】なお、RZ(零復帰)信号については、総分散量零の近傍で40GHz成分が極大になること、及び、極大点の分散値が非線形効果によりシフトすることがA.Sano et al., ECOC'96 Technical Pigests Tud. 3. 5に報告されている。

【0011】

【発明が解決しようとする課題】したがって本発明の目的は、非線形効果が顕著に現われるほどに信号光パワーが大きい場合であっても光伝送路の波長分散を適切に制御できる分散制御方法及び装置を提供することにある。

【0012】

【課題を解決するための手段】本発明によれば、光伝送路で伝送される光信号のパワーから最適な総分散量を決定し、光伝送路の所定の制御点までの分散量が零になるように分散量を制御し、該制御点の後段において、前記最適総分散量に相当する分散量を付加するステップを具備する分散制御方法が提供される。

【0013】本発明によれば、システムの運用の開始前に、光信号のパワーを非線形効果の生じない低い値に設定して、光伝送路の総分散量が零になるように総分散量を制御し、システムの運用中に、光信号のパワーから最適な総分散量を決定し、該最適分散量に相当する分散量を光伝送路に付加するステップを具備する分散制御方法もまた提供される。

【0014】本発明によれば光伝送路で伝送される光信号のパワーから最適な総分散量を決定する総分散量決定手段と、光伝送路の所定の制御点までの分散量が零になるように分散量を制御する分散量零制御手段と、該制御点の後段において、前記最適総分散量に相当する分散量を付加する手段とを具備する分散制御装置もまた提供される。

【0015】

【発明の実施の形態】データ信号のビットレートが40

GHzのOTDM信号、NRZ光信号、RZ光信号(デューティ50%)、およびRZ光信号(デューティ25%)のベースバンドスペクトル中の40GHz成分強度の総分散依存性の計算機シミュレーションの結果をそれぞれ図1~4に示す。図1~4には振幅方向のアイ開口度についても示してある。入力光のパワーは平均で-5dBm、SMF長は50kmであり、SMFに直列に接続したDCFの分散量を変えることにより、総分散量を変えた。

【0016】上記のOTDM信号とは図5に示すような光変調器10から出力される光信号である。図5において、LiNbO₃基板12にTiを熱拡散させて図5に示すような光導波路14を形成し、その上に図5中にハッチングで示す電極パターン16をAuで形成して、1入力2出力光スイッチ18、独立な2系列の光変調器を有するデータ変調部20、位相制御部22および光多重部24が形成される。1入力2出力光スイッチ18の光導波路に連続光を入力し、2つの電極に位相差が180°の20GHzクロックを印加すると、図6の(a)

(b)欄に示す互いに逆相の2系統の20GHz光クロックが光スイッチ18から出力され、データ変調部20の2つの光変調器へ入力される。2つの光変調器のそれぞれには20Gb/sのデータ信号が印加されて図6の

(c)(d)欄に示す2系列のRZ信号がデータ変調器20から出力される。位相制御部22では2光波間の位相差が180°になるように光波の位相が調節され、光多重部24で合成される。2光波間の位相差が180°であるので、図6の(e)欄に示すように1が連続するところでは裾部分が打ち消し合ってRZ信号に近い波形になり、それ以外の隣接ビットの少なくとも一方が0になるところではNRZ信号の波形に近くなる。

【0017】図3および図4のRZ信号については、総分散量が零になったときに40GHz成分の強度が最大になることがわかる。これに対して、図1のOTDM信号および図2のNRZ信号では、逆に総分散量が零のときに40GHz成分強度は極小となっていることがわかる。参考のためにOTDM及びNRZについて光変調信号ベースバンドスペクトルをそれぞれ図7及び図8に示す。NRZについては40GHz成分が無く、波長分散を受けた後ではスペクトル拡がりのために40GHz成分を生じると定性的には考えられる。また、OTDM及びNRZの各々について、-40, 0, +40ps/nmの分散を受けた後の波形(等化波形)を図9及び図10に示すが、OTDMとNRZの両方とも波形中心の"1"レベルが分散(正負)を受けた後に高くなり、クロスポイント位置が逆に下がっていることから、1タイムスロットの長さと同じ周期の強度変動が起きており、これによって40GHz成分が生じることがわかる。

【0018】したがって、一般にビットレートがBb/sの光信号を伝送する場合に、分散補償量や信号光波長等の可変分散デバイスの制御点を変化させて受光信号中の

BHz成分強度が極大または極小となる制御点を検出できれば、総分散量を零に設定できることになる。なお、BHz成分以外にも、BHzの高調波成分など、他の周波数成分を用いて同様の制御を行うことも考えられる。また、OTDM、NRZ波形においては、図1および図2から明らかなように極小点の両側に2つの極大点が対称に存在するから、極小点の検出が難しい場合、2つの極大点を与える可変分散補償デバイスの制御点を検出して、その中点を取ることで総分散量を零に設定することができる。

【0019】さらに、mビット/秒のデータ信号で振幅変調されたn個のRZ信号を時分割多重して得られた、 $n \cdot m$ ビット/秒のデータ信号で変調されたOTDM信号の場合、前述のように $n \cdot m$ ヘルツ成分を抽出してそれが極小となるように伝送路の総分散を制御する代わりに、mヘルツ成分を抽出してそれが極大となるように伝送路の総分散を制御しても良い。このOTDM信号を構成する速度mビット/秒のRZ信号にはmヘルツ成分が含まれ、図3及び図4から明らかなように、それは総分散量が0のとき極大となるからである。すなわち、この場合、 $n \cdot m$ ヘルツ成分またはmヘルツ成分を抽出し、それがそれぞれ極小または極大となるように伝送路の総分散量が制御される。

【0020】図11～14に、40Gb/s OTDM信号のSMF50km伝送における、送信光パワーがそれぞれ0、+5、+10及び+13dBmのときの総分散量（分散補償後）に対する40GHz成分とアイ開口度の関係（シミュレーション結果）を示す。図1及び図11～14からわかるように、40GHz成分強度が極小になる総分散量とアイ開口度が最大になる総分散量が一致するのは、信号光パワーの小さい線形伝送（-5dBm）の場合に限られる。信号光パワーが大きくなり、非線形効果が大きくなるほど、両者の差が大きくなり、上記の制御方法では分散補償量の最適化が難しい。

【0021】図15に40Gb/s OTDM信号のSMF50km伝送における、送信光パワーに対するアイ開口最大および40GHz成分極小の総分散量の関係を示す。これより、40GHz成分極小の総分散量は送信光パワーに依存せず、0ps/nmで一定であるのに対し、アイ開口最大の総分散量は送信光パワーが大きくなるほど正分散側にシフトする。

【0022】図16は本発明に係る自動分散等化システムの一実施例を示す。光送信機30からの40Gb/sのOTDM信号は光伝送路（SMF）32で伝送された後、可変分散補償器34、35を経て光受信機36へ入力される。光受信機36へ入力される光信号の一部は可変分散補償器34と35の間の光カプラ38で分岐され、受光器40で電気信号に変換される。受光器40の出力から中心周波数が40GHzのバンドパスフィルタ42で40GHz成分が抽出され、強度検出部44でその強

度が検出される。補償量制御部46においては、RZ信号に対しては40GHz成分が極大になる方向に、OTDMまたはNRZ波形に対しては、40GHz成分が極小になる方向に可変分散補償器34の分散補償量を制御する。また、20Gb/sのRZ信号を2個多重したOTDM信号の場合、40GHz成分を極小にする代わりに20GHz成分を極大にしても良い。

【0023】補償量制御部47は送信側の光ポストアンプ31内に通常存在する自動レベル制御（ALC）のための制御信号または光出力パワーモニタ信号を利用して光信号のパワーを検出し、OTDM信号の場合、図15の関係から非線形効果によるシフト量を決定し、可変分散補償器35に設定する。これにより、可変分散補償器34で分散量零に制御された光信号に、そのときの光パワーに応じた最適な分散量が付加されて光受信機36へ入射される。光信号パワーの検出のためには、光ポストアンプ31の出力の一部を分岐してフォトダイオードで検出しても良い。

【0024】NRZ信号については、図17～図21に40Gb/s NRZ信号のSMF50km伝送における、送信光パワーがそれぞれ0、+5、+10、+13のときの総分散量（分散補償後）に対する40GHz成分とアイ開口度の関係（シミュレーション結果）を示す。図2及び図17～図21からわかるようにアイ開口最大の総分散量が送信光パワーが大きくなるほど正分散側にシフトする特性はOTDM信号の場合と同じである。しかし、総分散量に対する40GHz成分強度の変化の様子はOTDM信号と異なる。特に、OTDM信号では、送信光パワーに依存せずに、総分散量零の場合に常に40GHz成分が極小になるのに対し、NRZ信号では、線形伝送の場合は総分散量零で40GHz成分が極小（=0）になるが、送信光パワーが大きくなるにつれて、総分散量零での40GHz成分が大きくなる。したがって、可変分散補償器34の制御については、OTDM信号の場合のように総分散量零で40GHz成分が極小になるように制御することはできない。しかし、40Gb/s NRZ信号の場合、送信パワーに依存せずに+60ps/nmと-60ps/nmで極大になるため、これらの極大点の中点を求めれば、総分散量零になるように可変分散補償器34を制御することは可能である。そして、可変分散補償器35についてはOTDM信号の場合と同様に、送信光パワーに従って変化させればよい。

【0025】図21及び図22に図16の光送信機30、光受信機36の具体例を示す。図21の光送信機30において、光信号生成のための光変調器として図5に示したOTDM変調器10が使用されている。図21には、図5のOTDM変調器10が図5と同一の構成要素に同一の参照番号を用いて機能的に表わされている。この例では、パラレルに入力される2つの10Gb/sのデータ信号をパラレル/シリアル変換部70で変換して1

つの20Gb/sのNRZ信号を得る。この20Gb/sのNRZ信号をドライバ72に投入し、光変調器20を駆動する20Gb/sのドライブ信号を得る。各光変調器20の出力(20Gb/sのRZ光信号)は、位相調整部22で位相調整され(光の位相差が180°になるように位相がずらされる。)した後、それらを光多重部24(光カプラ)にて合波して、1つのNRZ形式の40Gb/sの光信号を得、光ポストアンプ74を経て伝送路へ送出される。このような、光送信器の詳細回路図を図23に示す。

【0026】図22の光受信機において、40Gb/sの光信号は、光プリアンプ33、可変分散補償器34、ビームスプリッタ38、及び可変分散補償器35を介して、光DEMUX78に投入される。光DEMUX78としては、図24に示す偏光無依存型光DEMUXを用いることができる。図24に偏光無依存型光DEMUX78の構造図を示す。受信側に配置する光DEMUXには偏光無依存性が要求される。そのため、まず、ファイバ伝送後に投入される40Gb/s OTDM信号を、初段の交差導波路型偏光スプリッタ80によりTE成分とTM成分に偏光分離する。なお、ここでは偏波消光比が20dB以上確保できるように交差長を最適化している。次に各々のモードに対し、20GHz 正弦波信号駆動の1×2スイッチ84を用いて、20Gb/s光RZ信号への光時分割分離を行う。このとき、それぞれの1×2スイッチの2出力は相補関係にある。ただし、一般にLNスイッチ(変調器)においては、TEモードよりTMモードの方が変調効率が大きいので、本デバイスでは偏光分離後のTEモード光を1/2波長板82でTMモード光に変換してから光分離を行っている。最終段では、2つの偏波ビームコンバイナで、同じビットシーケンス同志を合波している。このとき、TMモード光同志を合波すると、前述のOTDM変調器の場合と同様に光干渉の問題が生じるので、先にTE/TMモード変換を行わなかったポートの1×2スイッチ84の後段で1/2波長板88によりTM/TEモード変換を行った後、直交偏波成分をパワー合波している。

【0027】図22に戻って、光DEMUX78にて得られた、2つの20Gb/s光RZ信号は、それぞれフォトダイオード90に投入されて電気信号に変換され、プリアンプ92にて増幅された後等化アンプ94にて波形成形される。そして、シリアル/パラレル変換部96にて、元の10Gb/s NRZ信号が再生される。図示されていないが、その後、10Gb/s識別部によりデータが再生される。このような光受信機36の光分離までの部分の詳細回路図を図25に示す。

【0028】次に可変分散補償器34、35の一例(M. Ohm et al., "Tunable fibergrating dispersion using a piezoelectric stack", OFC '97 Technical Digest, WJ3, pp. 155-156)について説明する。図26

に示すように、チャープドファイバグレーティング90の21個のセグメントの各々に別々に圧電素子92を取り付ける。各圧電素子への印加電圧 $V_1 \sim V_{21}$ として図27に示すように傾斜をつけて電圧を与えると、グレーティング90の長手方向に加わる圧力が変化し、図27のA～Dの電圧パターンに対して図28のように分散値(線の傾き)が変化する。また、電圧パターンA～Dの間の中間的な電圧パターンを与えれば、分散値を連続的に変えることができる。

【0029】図29は、補償量制御部46の一例を示す図である。40Gb/sの周波数成分の強度値は、A/D変換器94でA/D変換され、ディジタル信号として、MPU96に投入される。MPU96は、メモリ98に記憶されている前回受信した強度値 I_p と、今回の強度値 I_c とを比較し、現時点の分散量と40Gb/sの強度との関係が、図2におけるXのスロープにあるか、Yのスロープにあるかをチェックする。即ち、Xのスロープにあれば可変分散補償器34の分散量を減少させれば、分散量0(Zポイント)に収束する。またYのスロープであれば、可変分散補償器34の分散量を増加させれば分散量0に収束する。従って、 $I_c > I_p$ の場合は、Xスロープにあると見なし、可変分散補償器34に与える電圧を制御するため、分散量が減少するような $V_1 \sim V_{21}$ の値を求め、ラッチの付いたD/A変換器100経由で、各圧電素子に与える電圧を出力する。逆に $I_c < I_p$ の場合は、Yスロープにあると見なし、可変分散補償器34に与える電圧を制御するため、分散量が増加するような $V_1 \sim V_{21}$ の値を求める。

【0030】なお、 $V_1 \sim V_{21}$ の値を求めるためには、図27及び図28に示すデータ(分散量と $V_1 \sim V_{21}$ との関係を示すデータ)と、図2に示すデータ(40Gb/sの強度と分散量との関係を示すデータ)をメモリにあらかじめ記憶しておく。そして、図2のX、Yスロープのいずれのスロープにあるかをまず求めて、現在の分散量 I_c を図2に示すデータより求める。現在の分散量 I_c から、分散量0のZポイントに収束させるために可変分散補償器34で補償すべき分散量 $I_{c'}$ を求める。即ち、 $I_c + I_{c'} = 0$ となるように、 $I_{c'}$ を求める。

【0031】このようにして $I_{c'}$ が求めれば、図27及び図28に示されたデータをもとに、 $I_{c'}$ を得るために可変分散補償器34に与える $V_1 \sim V_{21}$ を求める。補償量制御部47は、図15に示した、光信号と最適総分散量の関係及び可変分散補償器に与える電圧パターンと分散値の関係のデータを内蔵しており、光ポストアンプ31の出力における光信号パワーの値からそのときの最適総分散量の値を決定し、それに対応する電圧 $V_1 \sim V_{21}$ を決定して可変分散補償器35に与える。

【0032】図30は図16のシステムの一変形を示す。同一の構成要素には同一の参照番号を付してその説明を省略する。図30のシステムにおいては、図16の

システムにおける可変分散補償器34の代わりに光送信機30に波長可変光源48を用い、信号光波長制御部50で信号光の波長を制御することにより光伝送路32の波長分散量を制御している。

【0033】図31は図16のシステムの他の変形を示す。図31のシステムにおいては、光信号のパワーの検出信号として、送信側の光ポストアンプ31でなく受信側の光プリアンプ33の制御信号またはモニタ信号が利用されている。その他の点は図16のシステムと同じである。図31のシステムにおいても、図30のシステムと同様に、可変分散補償器34の制御の代わりとして、波長可変光源48による信号光波長の制御を行なっても良い。

【0034】図32は本発明の第2の実施例に係る自動分散等化システムを示す。本実施例では、まず、システム立ち上げ時において信号光パワーを非線形効果の生じない十分低い値に設定した状態で、受光器40、バンドパスフィルタ42、強度検出部44、補償量制御部46、及び可変分散補償器34からなるループで総分散量が零に制御される。運用時には、補償量制御部47が光パワーの大きさから非線形効果による最適分散値のシフト量を決定し、可変分散補償器34の分散値をその分だけ変化させる。

【0035】図33は図14の関係を再度示すものであるが、図33からわかるように、総分散量を或る範囲に限定すれば、40GHz 強度から総分散量が一義的に決定される。そこで、図32の第2の実施例において、システム立ち上げ時に総分散量を零にした後、運用時の信号光パワーから決まる最適値に総分散量を設定するために、40GHz 強度が最適値に対応する値になるように制御しても良い。例えば、信号光パワーが+13dBm であるとき、図15の関係によれば最適総分散量は40ps/nmであるから、40GHz 強度が図33中のA点の値になるように制御する。

【0036】図34は図32のシステムの他の変形を示す。図34のシステムではシステム立ち上げ時の分散量の制御が可変分散補償器34を使って行なわれ、運用時の制御は可変分散補償器35を使って行なわれる。この場合、図35に示すように可変分散補償器35を送信側に配置しても良い。この例では、可変分散補償器35を光ポストアンプ31の近くに配置できるので、伝送路を挟んだ遠隔制御の必要がなく、システム運用が簡単になる。

【0037】これまでに説明した例では、再生中継システムにおける受信端および送信端に可変分散補償器が配置されているが、非再生光増幅中継システムにおいては、光増幅中継器内にも可変分散補償器が配置される構成においても同様の制御を行うことができる。

【0038】

【発明の効果】本発明により、可変分散補償器を用いた

超高速光伝送システムにおいて、送信光パワーに応じて分散補償量を最適化することが可能になる。

【図面の簡単な説明】

【図1】40Gb/s OTDM信号についての40GHz クロック成分強度の総分散量依存性の計算機シミュレーションの結果を示すグラフである。

【図2】40Gb/s NRZ信号についての40GHz クロック成分強度の総分散量依存性の計算機シミュレーションの結果を示すグラフである。

【図3】40Gb/s RZ信号（デューティ50%）についての40GHz クロック成分強度の総分散量依存性の計算機シミュレーションの結果を示すグラフである。

【図4】40Gb/s RZ信号（デューティ25%）についての40GHz クロック成分強度の総分散量依存性の計算機シミュレーションの結果を示すグラフである。

【図5】40Gb/s OTDM信号を生成する光変調器の平面図である。

【図6】図5の光変調器の動作を説明する波形図である。

【図7】OTDM信号のベースバンドスペクトルである。

【図8】NRZ信号のベースバンドスペクトルである。

【図9】波長分散を受けた後のOTDM信号の波形図である。

【図10】波長分散を受けた後のNRZ信号の波形図である。

【図11】信号光パワーが0dBm であるときの40GHz OTDM信号についての40GHz クロック成分強度の総分散量依存性の計算機シミュレーションの結果を示すグラフである。

【図12】信号光パワーが+5dBm であるときの40GHz OTDM信号についての40GHz クロック成分強度の総分散量依存性の計算機シミュレーションの結果を示すグラフである。

【図13】信号光パワーが+10dBm であるときの40GHz OTDM信号についての40GHz クロック成分強度の総分散量依存性の計算機シミュレーションの結果を示すグラフである。

【図14】信号光パワーが+13dBm であるときの40GHz OTDM信号についての40GHz クロック成分強度の総分散量依存性の計算機シミュレーションの結果を示すグラフである。

【図15】40GHz のOTDM信号伝送において、40GHz 成分が極小となる総分散量及び最適総分散量の信号光パワー依存性を示すグラフである。

【図16】本発明に係る自動分散等化システムの一実施例を示すブロック図である。

【図17】信号光パワーが0dBm であるときの40GHz NRZ信号についての40GHz クロック成分強度の総分散量依存性の計算機シミュレーションの結果を示すグラフである。

フである。

【図18】信号光パワーが+5dBm であるときの40GHz NRZ信号についての40GHzクロック成分強度の総分散量依存性の計算機シミュレーションの結果を示すグラフである。

【図19】信号光パワーが+10dBm であるときの40GHz NRZ信号についての40GHzクロック成分強度の総分散量依存性の計算機シミュレーションの結果を示すグラフである。

【図20】信号光パワーが+13dBm であるときの40GHz NRZ信号についての40GHzクロック成分強度の総分散量依存性の計算機シミュレーションの結果を示すグラフである。

【図21】図16の光送信機30の具体例を示すブロック図である。

【図22】図16の光受信機36の具体例を示すブロック図である。

【図23】光送信機の詳細回路図である。

【図24】偏光無依存型光DEMUXを示す図である。

【図25】光受信機の一部の詳細回路図である。

【図26】可変分散補償器の一例を示す図である。

【図27】図19の可変分散補償器の各セグメントへ与える電圧 $V_1 \sim V_{21}$ のパターンA～Dを示すグラフである。

【図28】各電圧パターンA～Dにおける分散値を示すグラフである。

【図29】補償量制御部46の構成の一例を示すブロック図である。

【図30】図16のシステムの一変形を示すブロック図である。

【図31】図16のシステムの他の変形を示すブロック図である。

【図32】本発明に係る自動分散等化システムの第二の実施例を示すブロック図である。

【図33】図32のシステムの一変形を説明するためのグラフである。

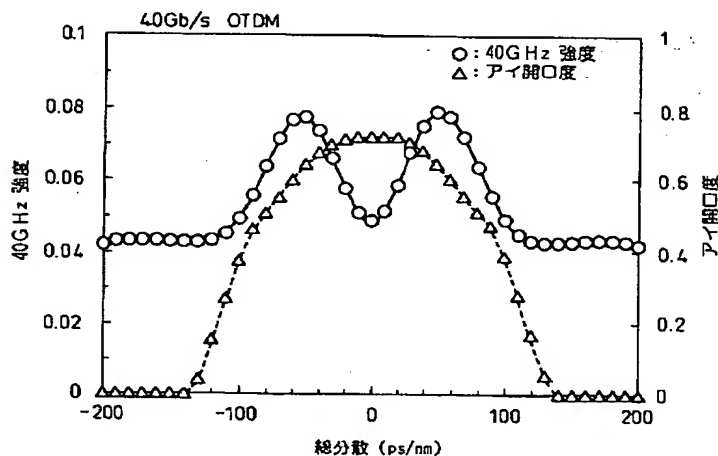
【図34】図32のシステムの他の変形を示すブロック図である。

【図35】図32のシステムの他の変形を示すブロック図である。

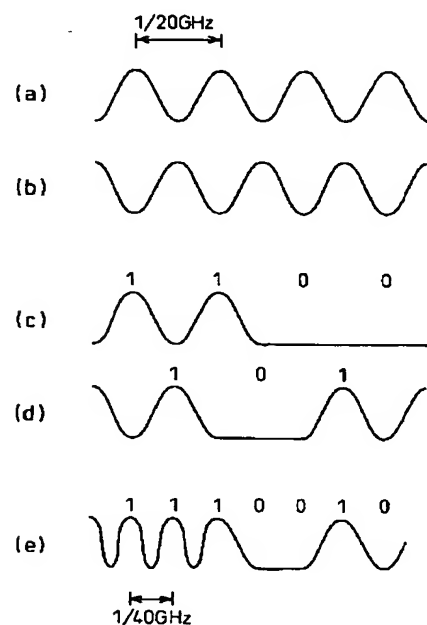
【符号の説明】

- 10…光変調器
- 12…LiNbO₃基板
- 14…光導波路
- 16…電極パターン
- 18…1入力2出力光スイッチ
- 20…データ変調部
- 22…位相制御部
- 24…光多重部
- 30…光送信機
- 31…光ポストアンプ
- 32…光伝送路
- 33…光アリアンプ
- 34, 35…可変分散補償器
- 36…光受信機

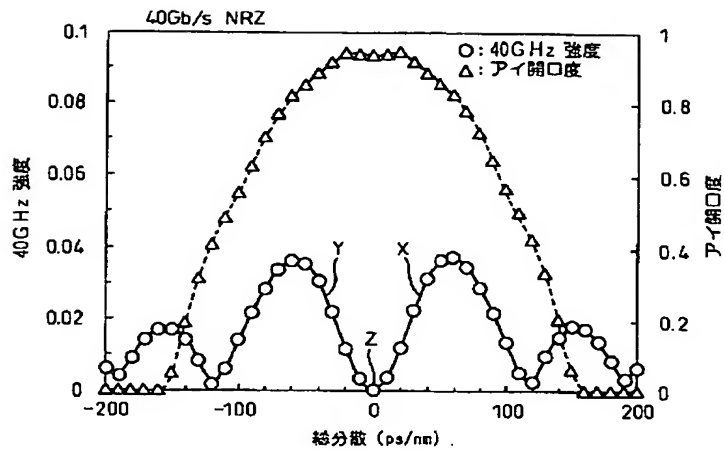
【図1】



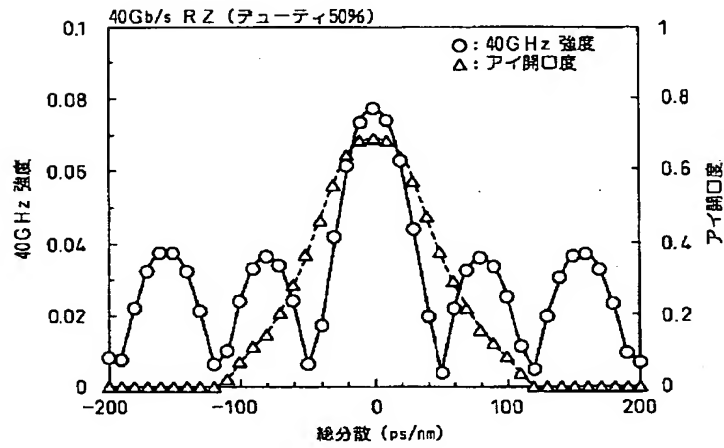
【図6】



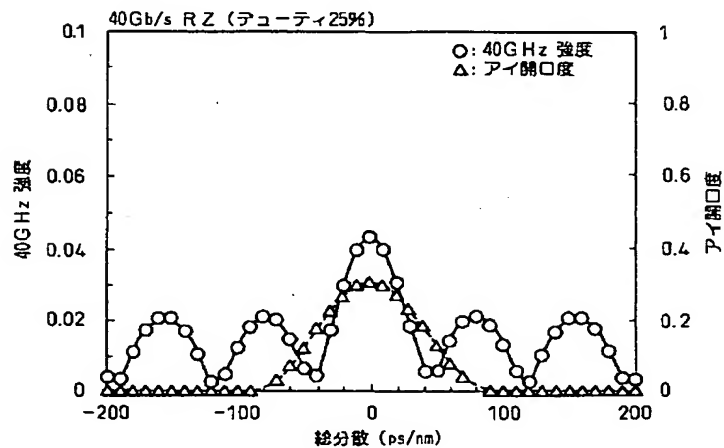
【図2】



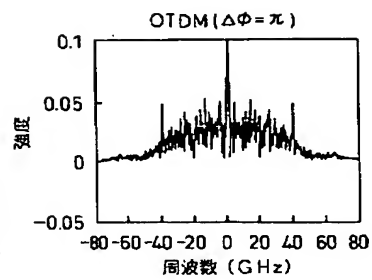
【図3】



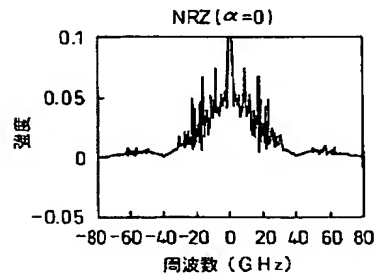
【図4】



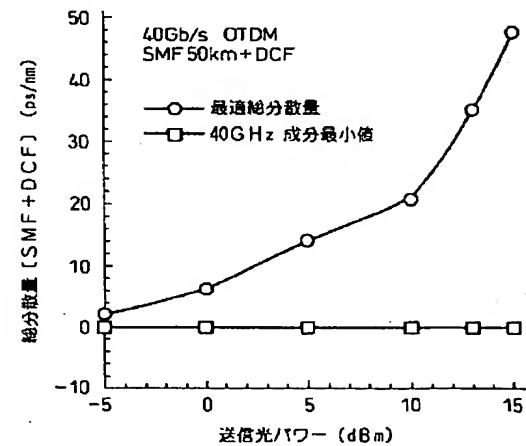
【図7】



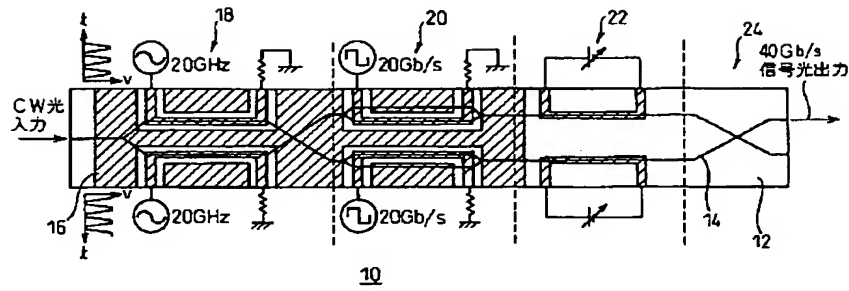
【図8】



【図15】

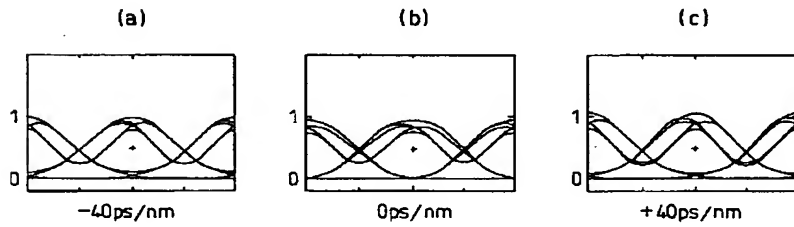


【図5】

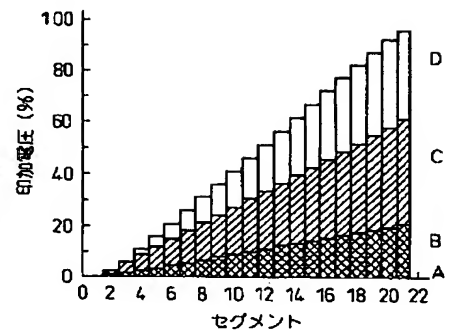


【図9】

OTDM

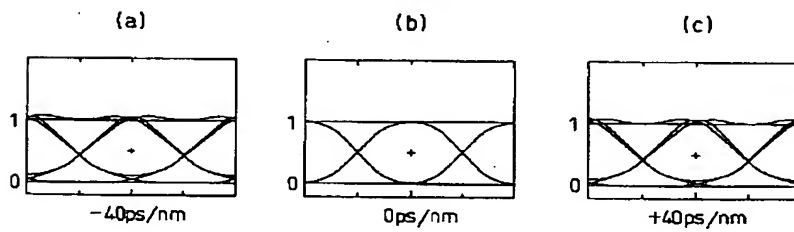


【図27】

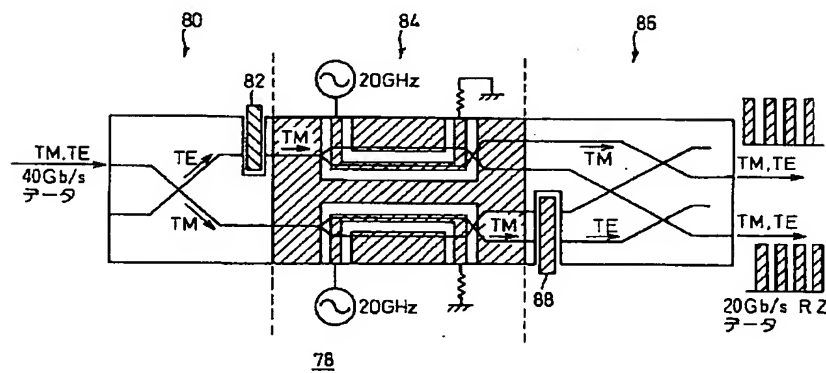


【図10】

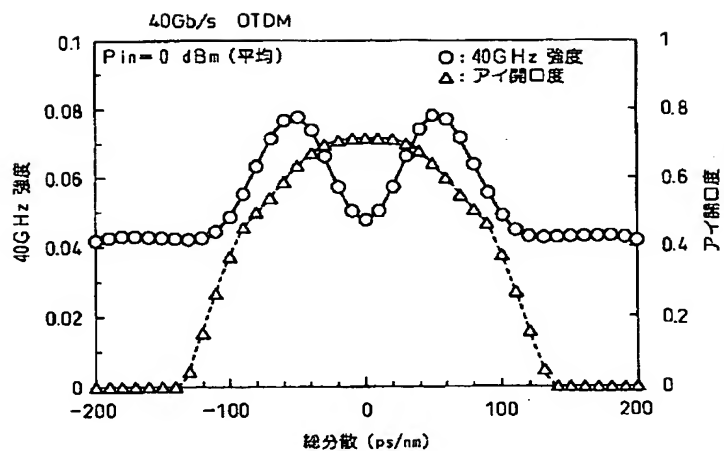
NRZ



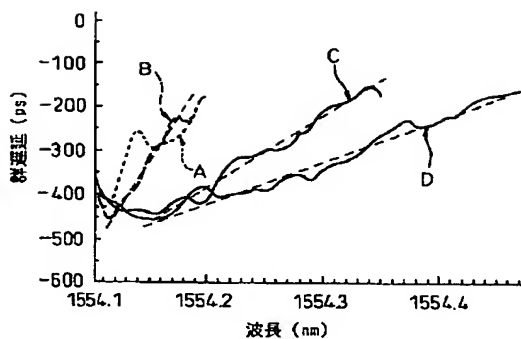
【図24】



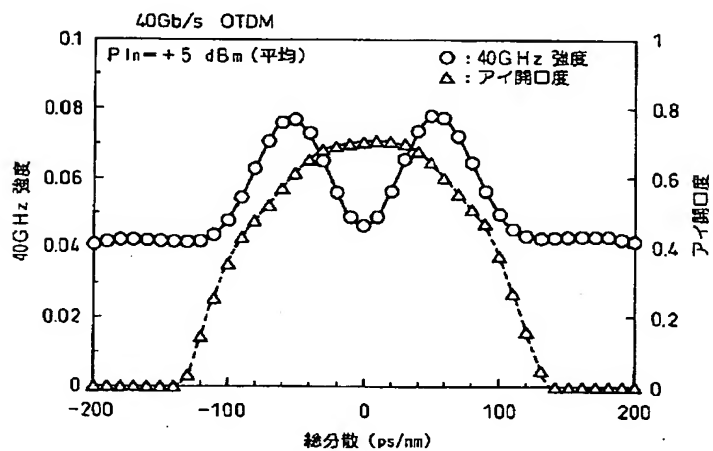
【図11】



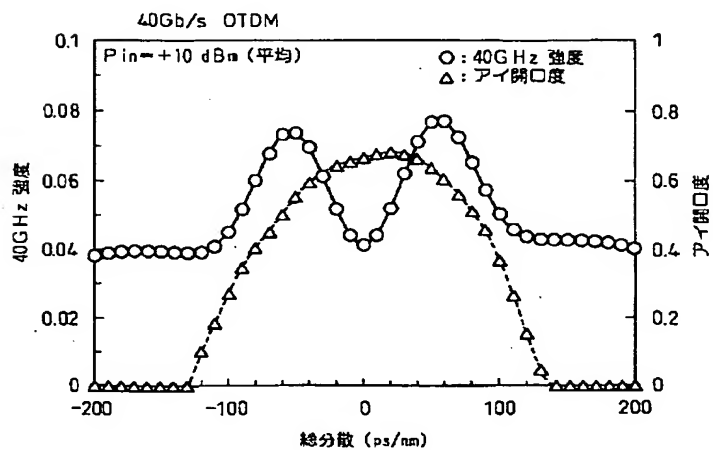
【図28】



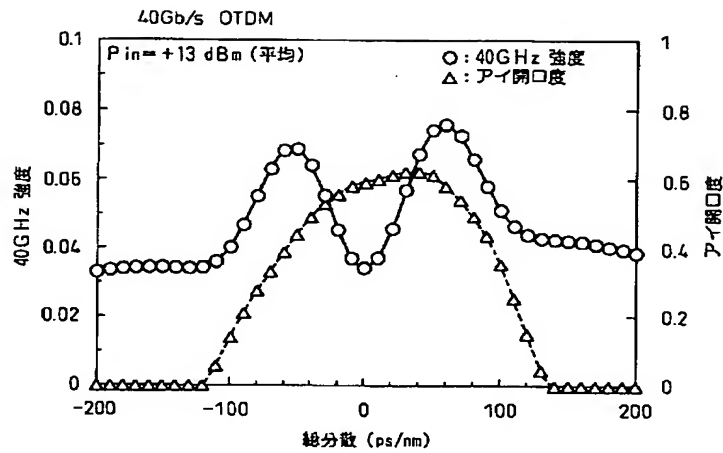
【図12】



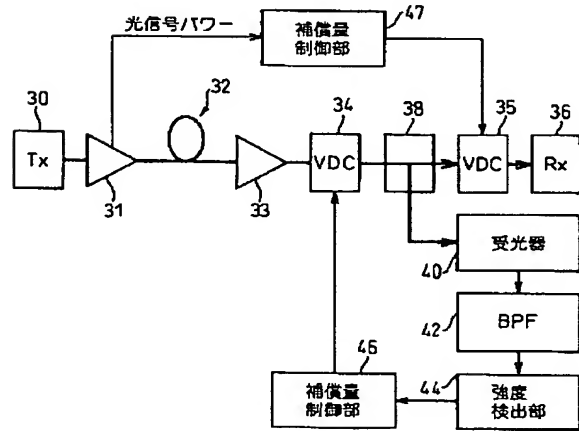
【図13】



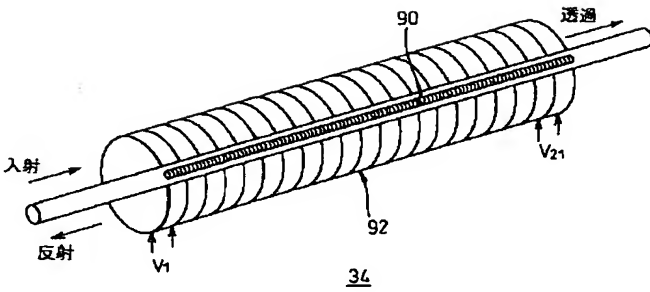
【図14】



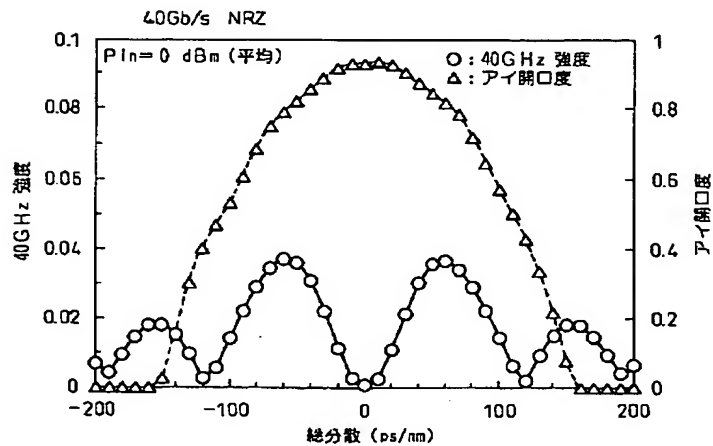
【図16】



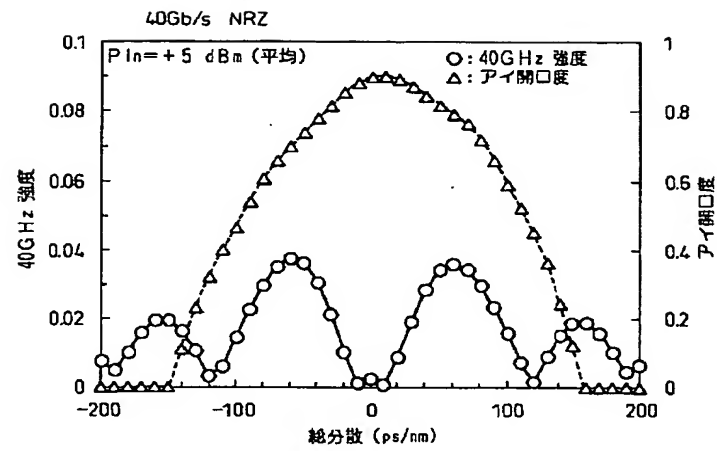
【図26】



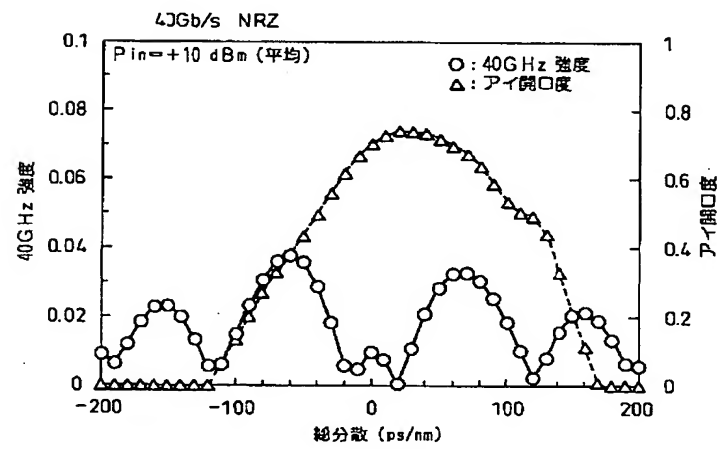
【図17】



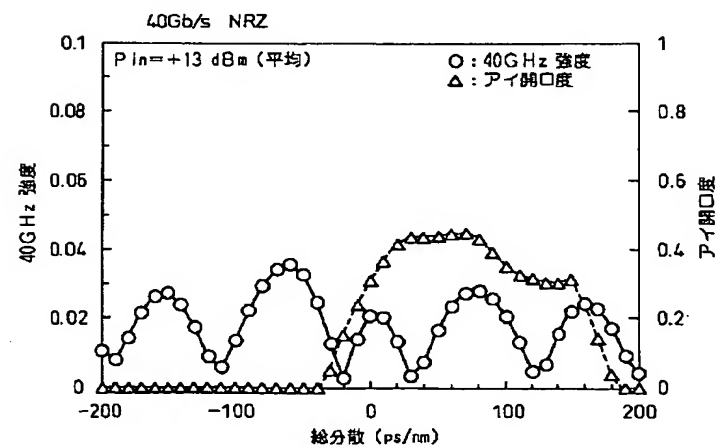
【図18】



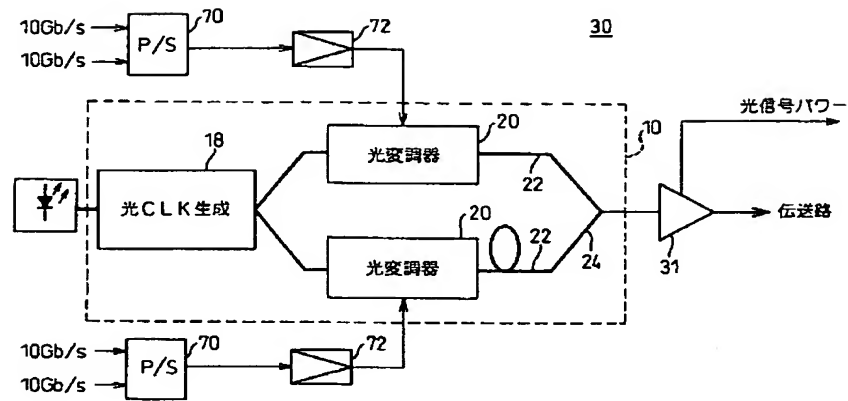
【図19】



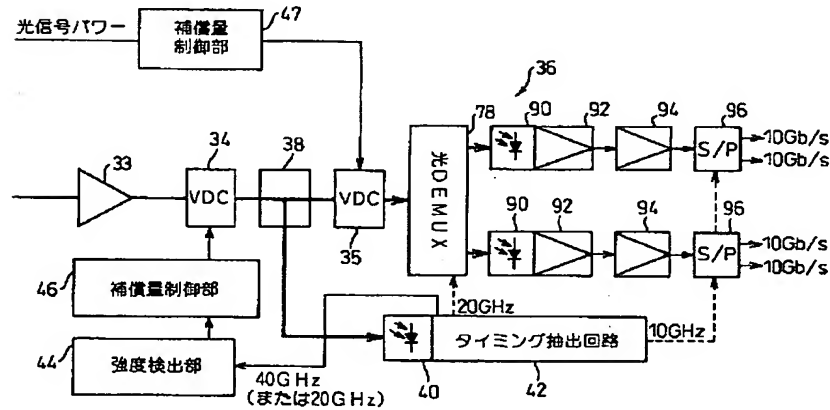
【図20】



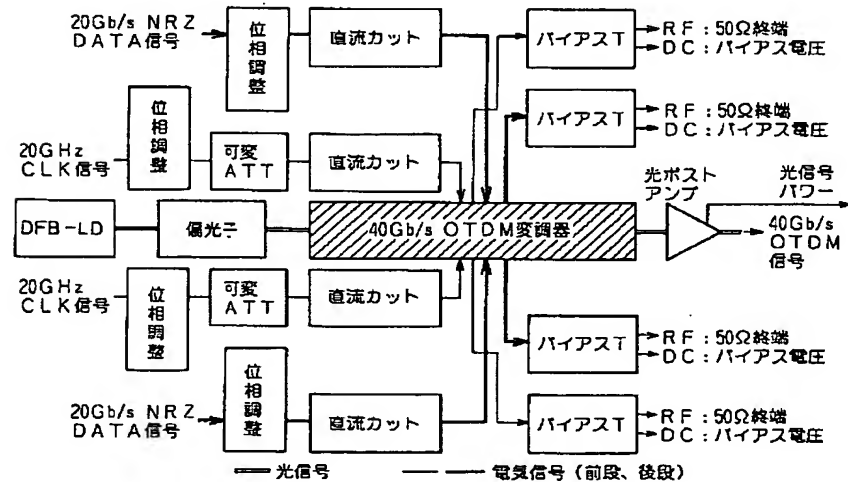
【図21】



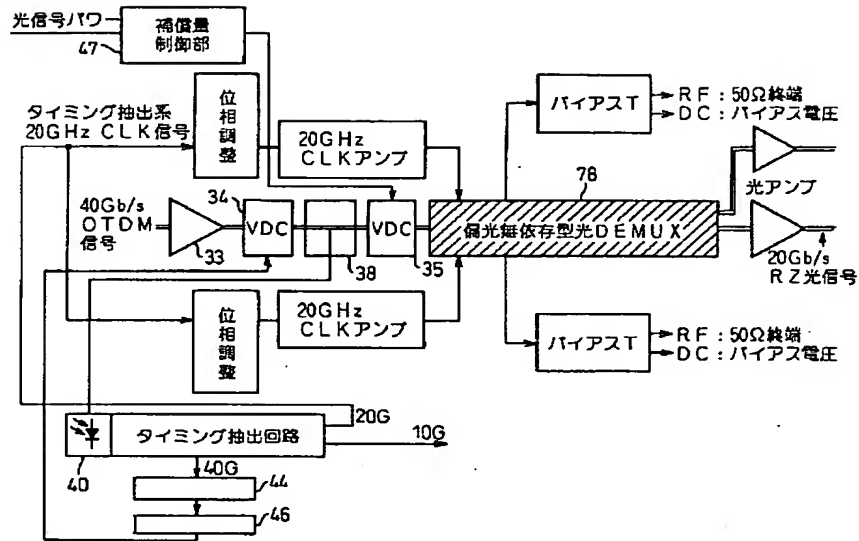
【図22】



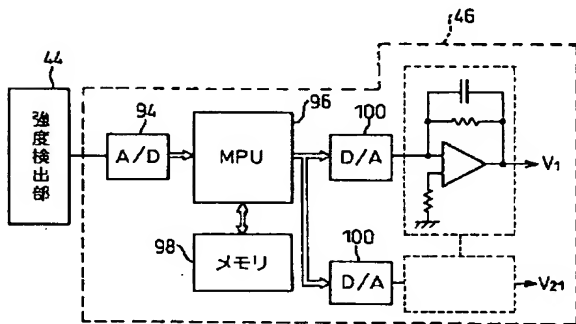
【図23】



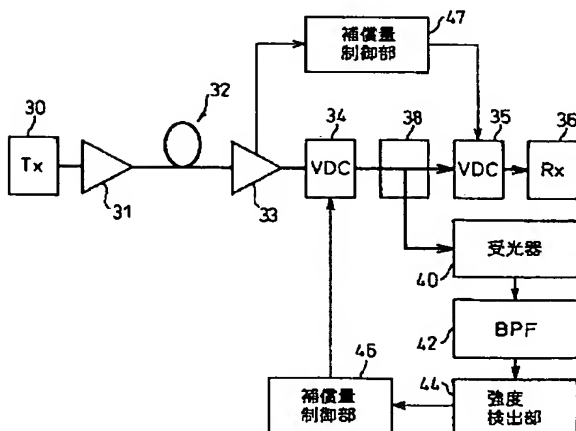
【図25】



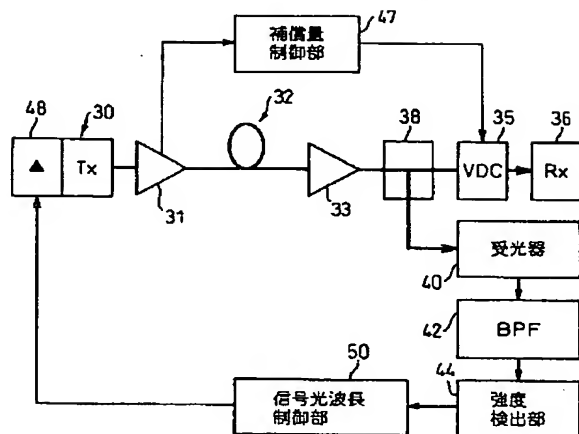
【図29】



【図31】



【図30】



40Gb/s OTDM

Pin = +13 dBm (平均)

○: 40 GHz 強度
△: π -開口度

40 GHz 強度

π -開口度

A

總分散 (ps/nm)

【図35】

